

---

## Estudio del comportamiento de un mortero de restauración con la adición de puzolanas naturales.

R. Prado Govea<sup>1</sup>, M. Louis Cereceda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Politécnica Superior IV, Universidad de Alicante, España.  
raul.prado@ua.es, web: <http://www.ua.es>

<sup>2</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Politécnica Superior IV, Universidad de Alicante, España  
miguel.louis@ua.es, web: <http://www.ua.es>

### RESUMEN

La investigación se basa en un estudio comparativo de las características de los morteros tradicionales de uso corriente, empleados en restauración arquitectónica, con otros en los que se emplean puzolanas naturales o aditivos específicos. Con este fin, se determinan sus principales características mecánicas, el comportamiento hídrico y la evolución de la porosidad, empleando las técnicas de análisis instrumental y la Normativa del Comité de la RILEM. Se demuestra lo adecuado del uso de la pulozana sin mezclar, con resultados similares a los empleados por los antiguos y que además cumplen en gran medida, con todos los requerimientos y toda la exigencia necesaria en trabajos de restauración, incluso en regiones de climas húmedos y calurosos.

**Palabras clave:** Morteros, restauración, puzolana.

### ABSTRACT

The investigation is based on a comparative study of the characteristics of the traditional mortars of common use, used on architectural restoration, by others on those who use that natives use pozzolans or specific additives. With this end, there decide his principal mechanical characteristics, the water behavior and the evolution of the porosity, using the technologies of instrumental analysis and the Regulation of the Committee of the RILEM. It is demonstrated adapted of the use of the pozzolans without mixing, with results similar to the employees for the former ones and that in addition expire to a great extent, with all the requirements and the whole necessary exigency in works of restoration, even in regions of humid and warm climates.

**Keywords:** mortars, restoration, pozzolans

---

Autor de contacto: R. Prado Govea

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de esta investigación se ha basado en establecer una línea de ensayos y evaluación de **morteros de restauración** que contengan como aglomerantes: cal aérea e hidráulica, puzolanas naturales (**zeolita**) así como cemento de albañilería junto a sus mezclas, de acuerdo a la Normativa del Comité Internacional de la **Comisión 25-PEM** (protección y erosión de monumentos) de la **RILEM**, profundizando en el estudio de las propiedades relacionadas con la porosidad y su evolución.

Aunque la citada normativa de la RILEM, está pensada para la evaluación de materiales pétreos para la restauración, se ajusta al caso de estos morteros, ya que a fin de cuentas son también materiales pétreos, aunque “artificiales”. Por otra parte, y considerando que el objetivo es estudiar y evaluar las propiedades de cada uno de estos morteros, de forma comparativa con un mortero elaborado con estos mismos fines, pero que utilice una puzolana natural como la **zeolita**, como aglomerante.

Además, hemos utilizado **aditivos porógenos**, que añadidos a los **morteros**, permiten la transpirabilidad de las fábricas y la eliminación de la humedad. Este aspecto de la red porosa, es muy importante en los morteros para restauración porque incide en su transpirabilidad; y por esta razón cada uno de los ensayos realizados son con el uso o no de estos tipos de aditivos, a excepción del caso del mortero con **puzolana natural (zeolita)**, en el que se ha pretendido “reproducir” las mismas características de los morteros antiguos. Destacamos, que en todos los casos las condiciones de elaboración han sido siempre las mismas, es decir que la calidad y la composición granulométrica de la arena, el tipo de aglomerante y la dosificación del aditivo.

El trabajo demuestra lo adecuado del uso de la una pulozana natural (**zeolita**) (Donatello; Tyrer; Cheeseman, 2010) con resultados similares a los morteros empleados por los antiguos y que además cumple en gran medida, con todos los requerimientos y la exigencia necesaria en trabajos de restauración, incluso en regiones de climas húmedos y calurosos.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

De acuerdo a la metodología de trabajo, se caracterizaron diversos tipos de morteros de uso corriente en restauración arquitectónica, con el fin de determinar su comportamiento hídrico y su durabilidad, empleando como aglomedrante: cal aérea, hidráulica, cemento blanco, una mezcla de ambos y zeolita natural del yacimiento de Tasajeras (*Cuba*)(Rosell; Costafreda, 2009); en todos los casos con una dosificación básica de 1:3 o sea 2000 g de arena, 667 g de aglomerante y 467 g de agua para una relación a/c = 0.7 y/o 0,9; dado que los valores inferiores, posiblemente debido al desecado de la arena en estufa, no permiten una adecuada trabajabilidad, El uso de un aditivo porógeno (*disuelto en agua*), añadido a los morteros, permite la transpirabilidad de las fábricas y la eliminación de la humedad, aspecto de fundamental importancia en las obras de restauración. En la elaboración de las probetas se tuvo en cuenta la propuesta metodológica del **ICCROM**, confeccionando sus diversos formatos, según el tipo de ensayo; que sumaron una totalidad de 600 probetas con diferentes dimensiones, de acuerdo a las especificaciones de adecuación al ensayo realizado, según las normas RILEM de la Comisión 25-PEM y en relación con una totalidad de 6 análisis por ensayo, una muestra patrón y una para evaluar a largo plazo (de 3 meses a 3,5 años);

salvo en aquellos ensayos que no estuvieran normalizados. Dichos ensayos han sido los siguientes (Prado, 2011):

**Relacionados con la Porosidad y el agua:** porosidad accesible al agua, coeficiente de saturación, absorción de agua (a baja presión), absorción por gotas, coeficiente de absorción de agua (capilaridad) y distribución de tamaños de poros (por Porosimetría de Mercurio).

**Relacionados con el vapor de agua:** coeficiente de conductividad al vapor.

**Mecánicos:** cálculo de la velocidad sónica longitudinal, cálculo del módulo de elasticidad dinámico por la velocidad del sonido, medida de la dureza superficial (*Shore*), resistencia a la rotura a compresión y resistencia a la rotura a flexión.

**Mineralógicos:** análisis por difracción de rayos X y observación por microscopía electrónica de barrido *MEB*.

**Durabilidad:** Comportamiento a la intemperie (3,5 años).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada una de las mezclas de morteros elaboradas con y sin la adición de aditivos porógenos, a excepción del caso de la **zeolita**, en el que se buscaban que las condiciones fueran lo más repetitivas y fieles a los morteros antiguos, se relacionan los resultados comparativos, aunque por la ya conocida eficacia de las mezclas cal-cemento para estos fines, el estudio se centró fundamentalmente en ésta comparativa, pero entre los morteros de cal y los de zeolita (sin aditivar), aún teniendo como referencia los otros, ya que nuestro fin era evaluar las características de este mortero puzolánico, para enlucidos de restauración (Prado, 2011).

#### 3.1 Mediciones por Ultrasonidos

Los resultados denotan la diferencia de densidades ya que la mayor velocidad sónica se produce en los morteros de cemento bajando notablemente cuando se les añade cal aérea y dando los resultados más bajos con la cal hidráulica. El aditivo porógeno tiene poca influencia en las cales, al reducir mínimamente las cifras, lo que demuestra que no se producen discontinuidades, pero es bastante significativo en el mortero de cemento, con una pérdida del 17.6%. Puede ser debido a una mayor efectividad en los morteros de mayor compacidad. En el caso de los morteros elaborados con zeolita, se aprecia que su comportamiento es muy similar al mortero elaborado con cal aérea (**Tabla 1**).

**Tabla 1: Resultados de mediciones por ultrasonido.**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	1728	1695	-1.91
Cal Hidráulica	1473	1267	-13.99
Cal Aérea + Cto	1846	1759	-4.71
Cemento	2817	2321	-17.61
Zeolita	1730		

#### 3.2 Mediciones de Dureza.

Los resultados de la determinación de la dureza *Shore* superficial son similares en todos los morteros salvo en los de cal hidráulica que bajan notablemente. El efecto del aditivo disminuye lógicamente estos valores y es más significativo en los morteros de cal aérea, siendo apenas perceptible en el resto, lo que resulta positivo para uso en enlucidos donde esta propiedad es más importante que la resistencia mecánica, especialmente en zonas que puedan estar sometidas a

abrasión. En similitud al caso anterior, el comportamiento de los morteros con zeolitas es muy similar al de la cal aérea (Tabla 2).

**Tabla 2: Resultados de las mediciones de dureza en los diferentes morteros.**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	84.8	72.4	-14.62
Cal Hidráulica	63.5	59.6	-6.14
Cal Aérea + Cto	81.1	79.9	-1.48
Cemento	82.8	80.4	-2.90
Zeolita	90		

### 3.3 Resistencia a compresión

Como era de esperar, los resultados evidencian las bajas resistencias de los morteros de cal e incluso del mixto (cal-cemento), aunque con valores que se adaptan a las exigencias de las normas DIN para los *morteros de saneamiento*, por debajo de los  $6 \text{ N/mm}^2$ , siendo excesivamente altos en el mortero de cemento, lo cual no es ni útil ni relevante para un mortero de restauración. El aditivo reduce notablemente la resistencia, especialmente en el mortero de cal hidráulica, aunque no lo suficiente en el de cemento para cumplir la norma citada, por lo que deberemos usarlo siempre con cierta proporción de cal. Hay que destacar además que los resultados parciales tienen mayor dispersión cuando se incorpora el aditivo (Tabla 3).

**Tabla 3: Resistencia a Compresión en  $\text{N/mm}^2$**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	1.420	1.186	-16.48
Cal Hidráulica	2.970	0.457	-84.61
Cal Aérea + Cto	4.410	2.914	-33.92
Cemento	27.500	16.960	-38.33
Zeolita	1.620		

En el caso de las Zeolitas, la resistencia a la compresión mejora los resultados obtenidos en los morteros de cal aérea, pero sin que lleguen a alcanzar los valores alcanzados con los otros conglomerantes.

### 3.4 Resistencia a flexión

Los valores obtenidos están en consonancia con los anteriores, aunque los morteros de cal hidráulica quedan por debajo de los de los de cal aérea y de zeolitas, posiblemente por la menor adherencia con la arena. También la reducción de resistencia al incorporar el aditivo es importante, incluso mayor que en los valores de compresión, lo que es lógico si se tiene en cuenta la influencia que puede tener una trama de microporos en la adherencia interpartículas (Tabla 4).

**Tabla 4: Resistencia a flexión en  $\text{N/mm}^2$**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	0.193	0.139	-27.98
Cal Hidráulica	0.174	0.031	-82.18
Cal Aérea + Cto	0.425	0.265	-37.65
Cemento	1.300	0.683	-47.46
Zeolita	0.20		

### 3.5 Cálculo de los Módulos de Elasticidad.

Para el cálculo de los módulos de elasticidad se tuvo en cuenta la velocidad de ultrasonido, el peso y las densidades de las probetas; y como se aprecian los valores alcanzados en la cal aérea y en los morteros de zeolitas, son prácticamente iguales (**Tabla 5**).

**Tabla 5: Resultados del cálculo de los módulos de elasticidad Kg/cm<sup>2</sup>**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	5.47	3.72	-32
Cal Hidráulica	5.72	2.37	-58,5
Cal Aérea + Cto	5.90	4.60	-22
Cemento	12.85	9.35	-27
Zeolita	5.85		

### 3.6 Análisis por difracción de rayos X (DRX).

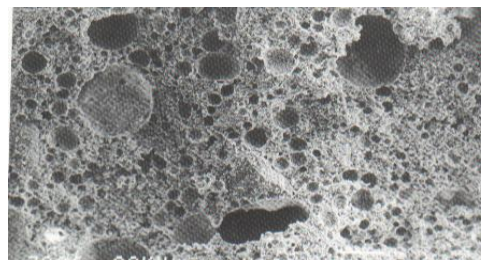
Las muestras analizadas por **DRX** reflejan una mineralogía clásica de un mortero, con la presencia de  $\text{Ca(OH)}_2$ , bien porque se trata del propio aglomerante, como es el caso de la cal aérea hidratada, o bien por ser Portlandita liberada en la hidratación de los silicatos cálcicos del cemento o la cal hidráulica, como en el caso de las zeolitas. También aparece  $\text{CaCO}_3$ , que puede ser resultante de la carbonatación parcial del  $\text{Ca(OH)}_2$  ó corresponder a la parte caliza del árido. La presencia elevada de cuarzo, feldespatos, caolinita e illita, corresponde a las fases del árido, observándose en alguna muestra menor cantidad de feldespato compensada con una mayor presencia de caolinita.

### 3.7 Observación por Microscopía Electrónica de barrido SEM.

Mediante microscopía electrónica de barrido **SEM**, se observa la mineralogía correspondiente a los distintos tipos de morteros, así mismo se observan claramente las diferencias en el sistema poroso de las muestras sin tratamiento y el generado por el aditivo en las muestras tratadas. Mientras que en las muestras no aditivadas se observa una superficie compacta o con presencia de algún macroporo (**Foto 1**), en las aditivadas el sistema poroso está siempre formado por numerosos microporos de diámetro inferior a las 50 micras, no estando conectados unos con otros, lo cual implica que no forman red capilar por lo que presumiblemente el agua encuentre dificultades para circular por el interior del mortero (**Foto 2**). Si es posible, sin embargo, que se produzca la transferencia de vapor de agua debido al menor tamaño de su molécula.



**Foto 1: Macroporo**

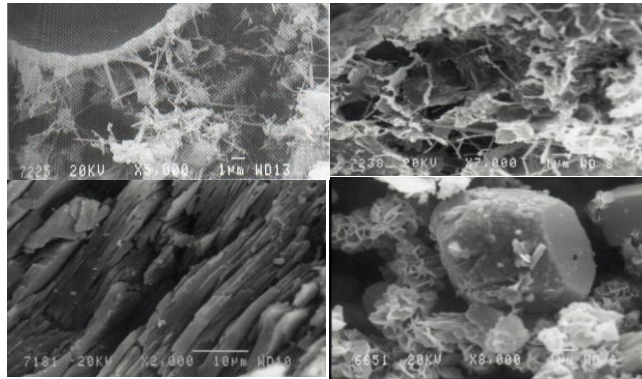


**Foto 2: Microporos**

En las muestras tratadas se puede comprobar la presencia del aditivo por el halo que se produce en el contorno de los poros, lo que nos permite afirmar que no actúa por obturación sino recubriendo de una fina película los minerales (**Fotos 3,4, 5 y 6**).

**Foto 3**

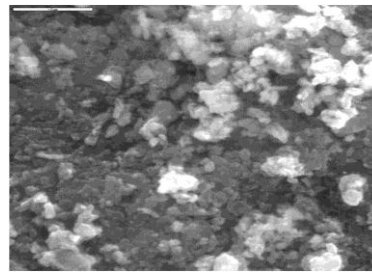
**Foto 4**



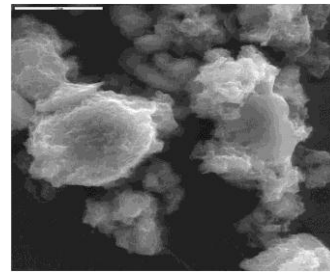
**Foto 5**

**Foto 6**

En el caso de los morteros elaborados con zeolitas, según se aprecia en las **Foto 7** y en la **Foto 8**, la porosidad no está tan definida pero se distribuye más uniformemente que en los otros morteros.



**Foto 7**



**Foto 8**

### 3.8 Porosidad accesible al agua

Los valores obtenidos son sensiblemente iguales en todos los morteros, mostrando una porosidad elevada, algo más reducida en el de cemento, debida lógicamente a su reducida porosidad. El efecto del aditivo es irregular, aumentando o disminuyendo los valores aunque con pequeñas desviaciones y tendiendo a aumentar. En el caso de los morteros con zeolitas, destaca que son prácticamente iguales a los valores obtenidos con los morteros de cal aérea (**Tabla 6**).

**Tabla 6: Resultados de la Porosidad accesible al agua**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	30.56	29.13	-4.68
Cal Hidráulica	30.09	30.71	+2.06
Cal Aérea + Cto	29.41	30.49	+3.67
Cemento	25.34	27.42	+8.20
Zeolita	30		

### 3.9 Absorción al agua

Se han obtenido valores tanto al vacío como a presión ambiental, estos últimos algo inferiores. Están en correspondencia con los datos anteriores, incluso para el mortero con zeolita; y el efecto del aditivo es similar, aunque los porcentajes de variación son superiores, evidenciándose un fuerte incremento en el mortero de cemento por ser menos absorbente que el resto como era de suponer (**Tabla 7**).

**Tabla 7: Resultados de los ensayos de absorción de agua por inmersión al vacío %**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	18.37	17.18	-6.48
Cal Hidráulica	18.92	20.71	+9.46
Cal Aérea + Cto	17.52	19.14	+9.25
Cemento	14.20	16.48	+16.06
Zeolita	18.50		

### 3.10 Distribución del volumen de poros (*Porosimetría de mercurio*).

Las desviaciones respecto a los ensayos con agua no son importantes, con un incremento más bien lineal en todos los morteros, cuando utilizamos esta técnica. El efecto del aditivo vuelve a ser irregular aunque se vuelve a producir un fuerte incremento en el mortero de cemento, siendo atribuible a la misma causa, es decir, a la menor porosidad original del mismo (**Tabla 8**).

**Tabla N° 8. Resultados de los ensayos de Porosimetría de mercurio**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	35.1	30.9	-11.96
Cal Hidráulica	39.1	32.2	-17.65
Cal Aérea + Cto	34.2	34.1	-0.29
Cemento	28.6	31.8	+11.19
Zeolita	34.8		

En el caso del mortero elaborado con zeolita, la porosidad es algo inferior al mortero de cal aérea, pero sin llegar a los resultados que se alcanzan en los morteros de cemento y mezclados, en ambos casos inferiores, y se justifica de acuerdo a la distribución de la trama porosa, que ya observamos mediante microscopia SEM. De mayor interés es el tamaño medio de los poros, que es de 0,25 ya que se comprueba la reducción de éstos en los morteros que contienen cemento, siendo el efecto del aditivo muy considerable, puesto que se reducen los diámetros en más de un 16%, en especial con el mortero mixto en el que dicha cifra aumenta al doble. De igual forma, el tamaño medio de los poros en el caso de los morteros con zeolitas es inferior al de la cal aérea, pero no llegan a los de cal hidráulica y están muy encima de los que contienen cemento como aglomerante (**Tabla 9**).

**Tabla 9: Resultados de la medición del tamaño medio de poros ( $\mu\text{m}$ )**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	0.29	0.21	-27.59
Cal Hidráulica	0.24	0.17	-29.17
Cal Aérea + Cto	0.12	0.08	-33.33
Cemento	0.06	0.05	-16.67
Zeolita	0.25		

### 3.11 Ensayo de Saturación.

Las probetas sin aditivo llegan a valores de saturación próximos al 100% en todos los morteros, produciéndose un descenso cuando se incorpora el aditivo porógeno, especialmente en el de cal hidráulica que baja un 11.3%. La explicación puede estar en el fenómeno hidrorrepelente que produce dicho aditivo. Los morteros con zeolitas, alcanzan valores prácticamente idénticos a los

morteros de cal aérea, ya que la pequeña diferencia se le puede asumir al mismo error en la medición ó realización del ensayo (**Tabla 10**).

**Tabla 10: Resultados del Ensayo de Saturación**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	95.39	89.75	-5.91
Cal Hidráulica	95.21	84.43	-11.32
Cal Aérea + Cto	97.16	94.37	-2.87
Cemento	95.39	89.75	-5.91
Zeolita	95.42		

### 3.12 Absorción de agua a baja presión.

Mediante la colocación sobre la superficie de la probeta, sellando la junta, de un tubo de cristal graduado o pipeta, se mide el tiempo que tarda en absorber una determinada cantidad de agua. Los resultados expresan la mayor absorción de las calces respecto al mortero de cemento, de forma similar al ensayo anterior y la prolongación de los tiempos que se produce en las muestras aditivadas. Los morteros con zeolita, presentan una absorción de agua inferior a los de cal, lo que puede redundar en que contribuyan a que las superficies “*repelan*” más el agua por efecto de la de la lluvia, etc.

**Tabla 11: Resultados del ensayo de absorción de agua a baja presión en mm/seg.**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	0.090	0.018	- 80.00
Cal Hidráulica	0.104	0.021	-79.81
Cal Aérea + Cto	0.040	0.012	-70.00
Cemento	0.012	0.004	-66.66
Zeolita	0,080		

### 3.13 Coeficiente de capilaridad

Como era de suponer la reducción de la absorción de agua por capilaridad al incorporar el aditivo es bastante notable, además de uniforme, en todos los morteros, puesto que la trama porosa producida no forma red capilar y el producto tiene cierto carácter hidrófugo (**Tabla 12**).

**Tabla 12: Resultados del Coeficiente de capilaridad  $\text{Kg/m}^2.\text{s}^{0.5}$**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	0.149	0.137	-8.05
Cal Hidráulica	0.154	0.117	-24.03
Cal Aérea + Cto	0.133	0.109	-18.05
Cemento	0.030	0.024	-20.00
Zeolita	0.130		

Los morteros con zeolitas muestran un coeficiente de capilaridad más reducido que los de cal, y esto está en relación con el tamaño de los poros y la distribución de su trama porosa.

### 3.14 Absorción por gotas.

Los resultados medidos en tiempo reflejan de forma ascendente la mayor impermeabilidad de los morteros que contienen cemento y la reducción de la absorción que provoca el aditivo, principalmente también en el mortero de cemento donde se triplica el tiempo. De todas formas



los incrementos de tiempo no son tan importantes como para considerar la superficie hidrofugada y, de hecho, durante el ensayo apenas se producía el efecto perlante de las gotas. Como se aprecia en la **Tabla 13**, los morteros con zeolitas, retardan mas de tres veces en tiempo, la absorción de la gota, por lo que son menos propensos a absorber la humedad que los morteros tradicionales y hasta incluso los de cal para restauración.

**Tabla 13: Resultados del ensayo de Absorción de agua por gotas**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	1' 47''	2' 45''	- 35.15
Cal Hidráulica	2' 50''	3' 34''	-20.56
Cal Aérea + Cto	3' 25''	5' 30''	-37.88
Cemento	4' 34''	15' 25''	-70.38
Zeolita	4' 15''		

### 3.15 Coeficiente de conductividad del vapor de agua.

La conductividad al vapor es un factor muy importante en este tipo de morteros en relación a su transpirabilidad. Desde luego con el empleo del aditivo porógeno, esta aumenta, y además el papel de la cal en estos morteros es permitir una mayor conductividad, parámetro que disminuye apreciablemente en los morteros con cemento y se mantiene bastante similar en el caso de la cal y de las zeolitas (**Tabla 14**).

**Tabla N° 14. Resultados del Coeficiente de conductividad al vapor de agua.**

Tipo de Mortero	Sin Aditivo	Con Aditivo	Incremento (%)
Cal Aérea	6.074	6.274	-3.2
Cal Hidráulica	5.037	5.057	-0.39
Cal Aérea + Cto	7.477	7.677	-2.6
Cemento	4.714	4.814	-2.12
Zeolita	5.097		

Estos resultados nos dan una medida de la evaporación que presentan estos morteros a lo largo del tiempo.

### 3.16 Comportamiento a la Intemperie.

Las probetas elaboradas con todas las dosificaciones de morteros, fueron colocadas en paneles con una inclinación de 45° y con orientación sur, en la cubierta de un edificio, por espacio de tres años y medio, su evolución ha sido observada por períodos de 6 a 12 meses. Como resultado de esto, las probetas elaboradas con morteros de zeolitas conservaron su consistencia; y además su color; en un orden muy similar al de los morteros de Cal. En el caso de los morteros de cemento su estado de conservación era el esperado, o sea muy bien conservados; pero debe recordarse, que se demuestra la relación entre la durabilidad de los morteros y sus propiedades de transpirabilidad en las fábricas (Louis; Spairani; Prado, 2010), para su empleo en la restauración arquitectónica.

## CONCLUSIONES

Los objetivos de este trabajo se centraron en establecer una línea comparativa de ensayos y de evaluación de morteros de restauración con los fundamentales conglomerantes empleados hoy día e incluso con sus mezclas y se ha demostrado que: las resistencias mecánicas disminuyen

Estudio del comportamiento de un mortero de restauración con la adición de puzolanas naturales.

notablemente al añadir el aditivo, especialmente en el de cal hidráulica, cuyos valores también son muy bajos sin el aditivo y se mantienen en valores similares en el caso de los morteros de cal aérea y zeolita; con valores que se adaptan a las exigencias de las normas DIN para los *morteros de saneamiento*, por debajo de los  $6 \text{ N/mm}^2$ , la transmisión de ultrasonidos se reduce mucho menos, lo que indica que la estructura interna no sufre discontinuidades. La dureza superficial se mantiene similar en todos los casos, a excepción del caso de la cal hidráulica, por lo que podemos concluir que no produce un efecto negativo en este sentido, ya que se debe mantener en materiales expuestos en superficie a una posible abrasión.

Por otra parte el estudio mineralógico no permite observar ninguna variación de los compuestos que forman los morteros, detectándose únicamente modificaciones en la trama porosa, que se incrementa especialmente en poros de poco diámetro, y en el depósito micrométrico que se produce en su interior debido al aditivo. Como la reactividad de la zeolita es mayor cuanto mayor es su finura, en este caso la adición de esta puzolana natural muy fina, también crea una trama porosa muy beneficiosa para el comportamiento de estos morteros. La porosidad accesible, tanto al agua como al mercurio, se modifica de forma irregular y el tamaño de los poros si se ve modificado de forma importante, creándose una mayor microporosidad al reducirse el tamaño medio de estos. El hecho de producirse una saturación inferior así como una reducción importante de la succión capilar, indica la poca conectividad de los poros, observada también por SEM. Estos aspectos, se ven muy marcados en el caso de los morteros con zeolitas, con un comportamiento incluso mejor al de los morteros de cal. La absorción de agua a baja presión o por gotas es muy inferior, debido al efecto hidrofóbico que tienen estos productos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer los servicios prestados por los laboratorios y los servicios a la investigación de la universidad de Alicante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Donatello S., Tyrer M., Cheeseman C. (2010).** "Comparison of test methods to assess pozzolanic activity". Cement and Concrete Composites, 32: 121–127.
- Louis M., Spairani Y, Prado R. y otros (2010).** "Ensayos realizados a los morteros del Castillo de Sagunto". Informe técnico.
- Louis M., Spairani Y, Prado R. y otros. (2010).** "Caracterización de los materiales pétreos y morteros de la población medieval de Ifach (Calpe)". Informe técnico.
- Prado Govea R.H. (2011).** "Estudio comparativo de las características de los morteros tradicionales, empleados en restauración con otros de puzolanas naturales y aditivados". Tesis de Doctorado. RUA. Universidad de Alicante.
- Rosell M., Costafreda, J. L. (2009).** "Estudio del comportamiento puzolánico de algunas zeolitas de Iberoamerica empleando el método de la conductividad eléctrica". Proceedings VII Congreso Ibérico de Geoquímica.